

고무경도계를 이용한 콘크리트의 응결시간 추정 가능성 분석

Estimation of Setting Time of Concrete Using Rubber Hardness Meter

한민철¹ · 한인덕² · 신용섭^{3*}

Min-Cheol Han¹ · In-Deok Han² · Yong-Sub Shin^{3*}

(Received October 18, 2019 / Revised December 20, 2019 / Accepted December 20, 2019)

The purpose of this study is to explore the possibility of estimating optimum surface finishing work time of the fresh concrete placed at the job site by applying a surface hardness test meter(Durometer). Tests are carried out by measuring and comparing the Proctor penetration resistance test and hardness test by Durometer. Correlations between Proctor penetration test and hardness test by Durometer were obtained. Two different types Durometer were applied to estimate setting time. Test results indicate that the measurement of the Durometer and the test of the Proctor penetration resistance are highly correlated. When measuring the initial setting time with Durometer, initial setting time is reached when the hardness value by the type C Durometer is reached around 42HD, and when final setting is measured with the type D Durometer, the surface finishing work time limit and curing time can be estimated with 10HD of Durometer.

키워드 : 초결, 종결, 응결시간, 듀로미터, 프록터 관입저항 시험기

Keywords : Initial set, Final set, Setting time, Durometer, Proctor penetration resistance tester

1. 서론

콘크리트의 표면을 균일하고 수밀하게 하는 표면 마감 작업은 건축물 시공에서 필수적인 공정이다(Han 2008). 이러한 표면 마감 작업은 응결시간과 관련이 있는데, Fig. 1과 같이 액체 상태와 소성 상태의 경계인 초결과 소성 상태와 고체 상태의 경계인 종결시점 사이에서 진행하도록 제안되어져 있다(Korea Concrete Institute 2010).

즉, 초결 전에 표면 마감작업을 실시하게 되면 마감작업 장비인 피니셔의 무게를 견디지 못하여 자국이 남고, 마감면에 페이스트가 붙어 떨어짐과 아울러 마감작업 후 거동에 따른 침하균열과 기포상승 등의 문제가 발생할 수 있다. 또한 종결 이후의 늦은 시간에 실시하게 되면 어느정도 강도가 발현된 상태로 표면마감이 되지 않음에 따라 물을 분사하며 작업을 실시하게 되는데, 이렇게 되면 표면층의 물시멘트비가 커져 연약층이 형성됨에 따라서 강도가 저하하는 문제가 발생할 수 있다(Lee et al. 2018).

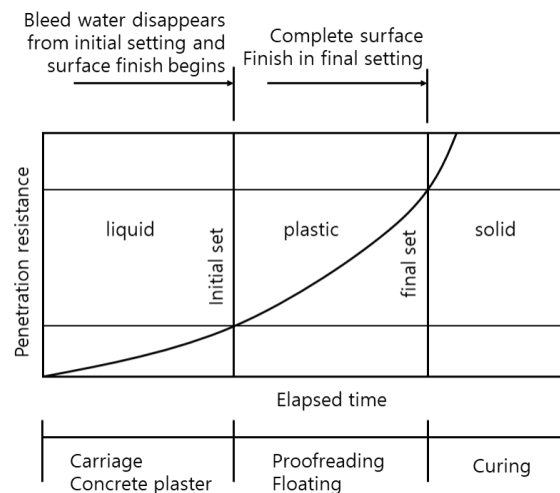


Fig. 1. Operating time for surface finish

* Corresponding author E-mail: 7599sy@daum.net

¹청주대학교 건축공학과 교수 (Department of Architectural Engineering, Cheongju University, Professor, Cheongju, 28503, Korea)

²제주대학교 건축공학과 부교수 (Department of Architectural Engineering, Jeju National University, Associate Professor, Jeju, 63243, Korea)

³청주대학교 건축공학과 박사과정 (Department of Architectural Engineering, Cheongju University, Doctor's Course, Cheongju, 28503, Korea)

그러나 이러한 표면 마감작업시간은 건설현장의 경우 ‘물 때 잡는다’ 라고 하여 중요시되고 있지만, 현재는 작업자의 감각으로만 판정되고 있어 과학적이지 못한 것이 현실이다.

또한, 응결시간을 측정할 수 있는 장비로는 Proctor 관입저항시험기가 있다. 그러나 이 장비는 무게가 무거운점과 저항침의 길이가 긴 이유 등으로 모르타르에서만 사용할 수 있다는 단점을 가지고 있어 현장 적용에는 곤란함을 가지고 있다. 따라서 고무의 경도, 즉 단단한 정도를 측정할 수 있는 장비인 Durometer를 이용하게 되면 손에 넣을 수 있는 소형 장비이고, 침의 관입길어도 짧아 타설된 콘크리트면에서 직접 응결시간을 추정할 수 있을 것으로 보고된 바 있다(Kato and Makishima 2017).

그러므로 본 연구에서는 표면 마감작업시간과 연관된 초결 및 종결의 응결시간을 Durometer를 이용하여 측정한 값과 Proctor 관입저항 시험기를 이용한 측정치를 비교하여 상관성을 구함으로써 듀로미터의 간편한 방법으로 실무 구조체의 과학적이고 정량적인 표면 마감작업시간의 추정 가능성을 분석하고자 한다.

2. Durometer에 대한 이론적 고찰

Durometer는 고무경도계의 한 종류이다. 즉, 경도계는 물질을 강하게 눌러 표면의 영구변형을 관찰하거나, 해머 등을 충돌시켜 반발력을 측정하는 등의 방법을 이용하여 광물이나 재료의 기계적 군기를 측정하는 장치이다. Durometer는 가해지는 힘과 측정물에 의한 반발력으로 측정하도록 하는 원리인데, 그에 따른 종류로는 일반고무, 연질플라스틱에 사용하는 A type, 스폰지 및 연질고무에 사용하는 C type, 단단한 고무 및 플라스틱에 사용하는 D type 이 있다. Table 1은 ASTM D 2240의 표준 규격에 맞추어 제작된 Durometer type별 측정 침의 형상, 측정범위, 허용압력, 침의 직경을 나타낸 것이다.

Table 1. Shapes of the needle depending on durometer types

Type	Form	Scale value (HD)	Pressure end pressure(N)	Probe size (mm)
A	Cone	0~100	0.55~8.06	∅0.79
C	Hemisphere	0~100	0.55~8.06	SR2.5 (SR: Spherical Radius)
D	Sharp	0~100	0~44.5	SR0.1



Fig. 2. Proctor penetration resistance tester



Fig. 3. Durometer C, D type

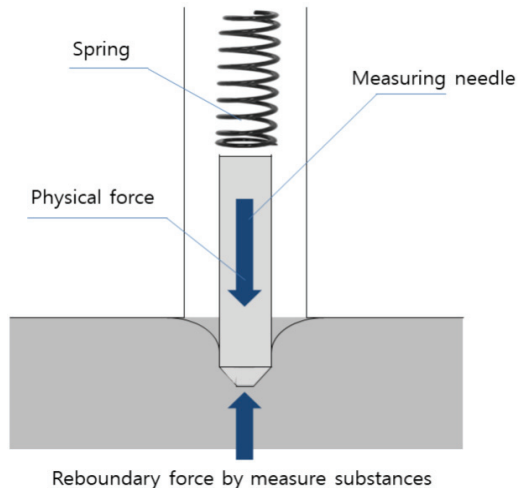


Fig. 4. Measurement of surface hardness by Durometer

Fig. 2, 3은 본 실험에 사용한 Proctor 관입저항 시험기와 Durometer의 사진이며, Fig. 4는 Durometer의 측정 원리를 나타낸 그림이다. Durometer는 가해지는 힘과 그에 따른 반발력으로 경도 측정이 가능하다.

3. 실험계획 및 방법

3.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 Series 1과 2로 계획한다. 즉, Series 1은 미립자 시멘트(Fine Particles Cement: 이하 FC)를 사용하는 시멘트 모르타르, Series 2는 Coal Gasification Slag(CGS)를 잔골재로 활용하는 콘크리트를 대상으로 실험을 진행한다.

먼저 Series 1의 경우 모르타르 배합비는 1:5에 물결합재 비는 100%, 목표 플로우는 150±25mm, 목표 공기량은 4.5±1.5%로 하였으며, 응결시간에 변화가 나타날 수 있는 FC의 치환율을 0, 25, 50, 75, 100%로 계획하였다. 실험사항으로 굳지않은 모르타르에서는 플로치와 공기량을, 응결시간 시험으로는 Proctor 관입 저항

치와 Durometer C, D type의 관입저항치를 측정하도록 하였다.

Series 2는 CGS를 잔골재로 사용하는 콘크리트로서 물결합재 비는 50%, CGS 0%인 Plain의 경우 목표 슬럼프는 150±25mm, 목표 공기량은 4.5±1.5%로하여 모든 배합에 동일하게 적용하였다. 이때 CGS는 부순 잔골재와 혼합하여 사용하였는데, 혼합비율은 0, 25, 50, 75, 100%로 실험계획 하였다. 굳지않은 콘크리트 시험으로 슬럼프 및 공기량을, 응결시간의 경우는 습식체가름한 모르타르에서는 Series 1과 동일하게 Proctor 관입 저항치와 Durometer C, D type의 관입저항치를 측정하는 것으로 하였고, 콘크리트에서는 Durometer만을 측정하는 것으로 하였다.

Table 2. Experimental plan of series 1

Test items		Variables	
Mixture	C:S	1	1 : 5
	W/B(%)		100
	Target flow(mm)		150 ± 25
	Target air contents(%)		4.5 ± 1.5
	FC replacement rate of OPC(%)	5	0, 25, 50, 75, 100
Experiments	Fresh mortar	2	Flow Air contents
	Setting time test	3	Proctor penetration resistance tester Durometer C type Durometer D type

Table 3. Experimental plan of series 2

Test items		Variables		
Mixture	W/B(%)	1	50	
	Target slump(mm)		150 ± 25	
	Target air contents(%)		4.5 ± 1.5	
	Types of aggregate		Coarse aggregate	· Crushed aggregate
		Fine aggregate	· CGS + Crushed sand	
CGS replacement rate(%)	5	0, 25, 50, 75, 100		
Experiments	Fresh concrete	2	Slump Air contents	
	Setting time test	Mortar	3	Proctor penetration resistance tester Durometer C type Durometer D type
		Concrete	2	Durometer C type Durometer D type

Table 4. Mixture proportions of mortars

W/B (%)	C:S	FC (%)	Unit weight(kg/m ³)				AE (C%)
			W	OPC	FC	CS	
100	1:5	0	303	303	0	1515	0.001
		25	303	227	75	1515	
		50	303	151	151	1515	
		75	303	75	227	1515	
		100	303	0	303	1515	

Table 5. Mixture proportions of concretes

W/C (%)	CGS (%)	Unit weight(kg/m ³)					AE (C%)	SP (C%)
		W	OPC	CG	CS	CGS		
50	0	180	360	904	863	0	0.18	0.16
	25				646	215		
	50				430	430		
	75				214	643		
	100				0	856		

3.2 사용재료

본 실험에 사용한 재료는 국내산의 일반적인 것을 이용하였다. 단, OPC 및 미립자 시멘트의 물리적 성질은 Table 6과 같으며, CGS 및 골재의 물리적 성질은 Table 7, 입도곡선은 Fig. 5와 같다. 특히, CGS는 석탄 가스화 복합발전에서 발생하는 슬래그로서 색상은 검은색이며 일반골재와 큰 차이가 없는 산업 부산물이다.

본 연구에 사용된 Durometer는 H사의 것을 이용하였다.

Table 6. Physical properties of cement

Type	Density (g/cm ³)	Blaine (cm ² /g)	Compressive strength(MPa)		
			3days	7days	28days
OPC	3.15	3 390	24.8	39.3	56.9
FC	3.15	6 400	35.7	51.9	61.3

Table 7. Physical properties of fine aggregate

Type	Density (g/cm ³)	Water absorption ratio(%)	Passing ratio of 0.08mm sieve(%)	Fineness modulus
Crushed sand	2.67	1.57	6.82	3.56
CGS	2.70	2.26	1.07	2.95
Crushed stone	2.63	0.36	0.51	6.71

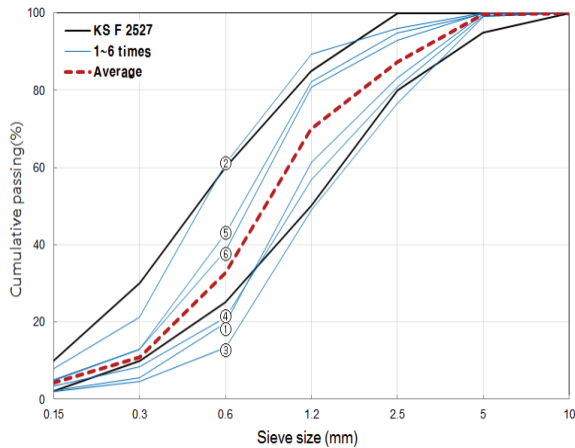


Fig. 5. CGS particle size distribution according to sampling time

3.3 시험방법

본 실험의 실험방법으로 먼저 모르타르의 제조는 Fig. 6, 콘크리트의 제조는 Fig. 7의 순서에 따라 실시하였다. 응결시간 측정과 관련하여 모르타르를 이용하는 Proctor 관입저항시험기의 경우는 KS F 2436의 방법에 따라 진행하였다. 즉, 응결이 진행됨에 따라

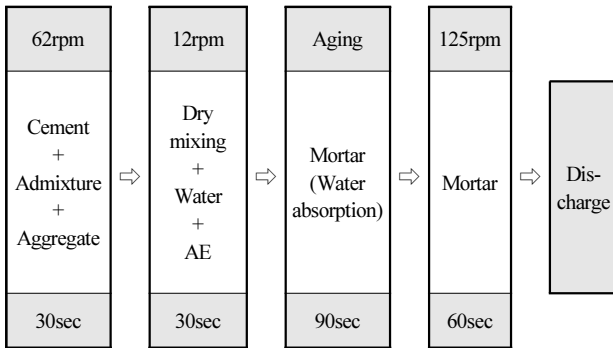


Fig. 6. Mixing sequence of mortar

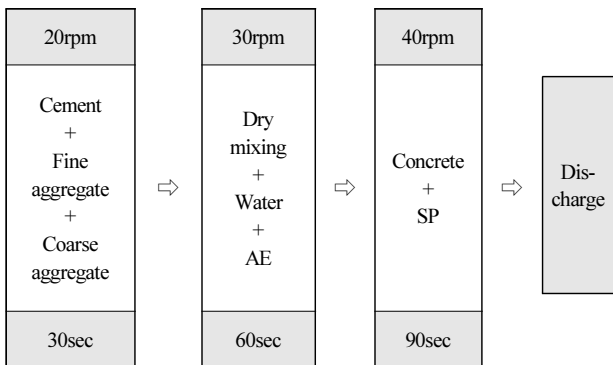


Fig. 7. Mixing sequence of concrete

관입시 침에 작용하는 저항값도 증가하는 원리로 초결과 종결 시간을 산정하도록 되어있다. 즉, 경과시간 곡선을 얻을 수 있는 시간간격으로 최소 6회 이상 시험하며 관입 저항 측정치가 3.5MPa를 기록하였을 때를 초결, 28MPa를 기록하였을 때를 종결로 결정한다(Shin et al, 2016). 또한 응결시간을 Proctor 관입저항시험기로 측정할 때 Durometer C type과 D type도 같이 측정하였다. 단, ASTM D 2240의 방법을 참고하여 측정하였다. 또한 오차를 최소화 하기위해 Durometer 측정치는 5회 측정 후 평균값을 사용하였으며, 콘크리트의 응결측정은 콘크리트 시험체(압축강도 시험용으로 $\varnothing 100 \times 200\text{mm}$ 공시체)에 Durometer를 직접 관입시켜 저항치를 측정하였다.

4. 실험결과 및 분석

4.1 굳지않은 상태의 특성

4.1.1 모르타르

시멘트 모르타르의 실험은 Series 1로서 굳지않은 모르타르의 실험결과와 Table 8과 같다. 즉, FC 치환율이 증가할수록 플로우는 감소하였고, 공기량은 큰 변화가 없었다.

4.1.2 콘크리트

콘크리트의 실험은 Series 2로서, 굳지않은 콘크리트의 특성은 Table 9와 같다. CGS 치환율이 증가할수록 유동성인 슬럼프 및 슬럼프플로는 감소하다가 증가하는 경향, 공기량은 감소하는 경향을 보였다. 이중 유동성은 적정 골재혼합에 따른 점성관계로 저하되었다가 이후에는 CGS의 구형입자 영향으로 증가하였고, 공기량은 CGS의 미연소탄분이 AE제를 흡착함에 기인하여 감소한 것으로 판단된다. Fig. 8은 CGS의 입자 형상을 나타낸 사진이다.

4.2 응결시간과 Durometer 측정치

4.2.1 FC치환 모르타르

Fig. 9는 Series 1의 FC 치환율 변화별 경과시간에 따른 Proctor 관입저항치를, Fig. 10은 FC 치환율 변화에 따른 초결 및 종결을 나타낸 것이다. 전반적인 경향으로는 FC의 치환율이 증가할수록 응결시간이 촉진되는 경향을 보였는데, 이는 미립자 시멘트인 FC의 초기 수화 반응 촉진에 기인한 것으로 판단된다.

Fig. 11은 FC 치환율 변화에 따른 Durometer C type에 대한 측정치를 나타낸 것이다. 먼저 경도에서는 단위를 규격화하여 사

Table 8. Test results for fresh mortars

FC ratio(%)	Flow(mm)	Air contents(%)	Setting time	
			Initial set	Final set
0	150	5.5	7h 30m	11h 30m
25	140	5.9	6h 10m	10h 40m
50	145	5.6	6h 40m	9h 40m
75	135	5.3	6h 50m	9h 50m
100	130	5.4	6h 25m	9h 25m

Table 9. Test results for fresh concretes

CGS ratio(%)	Slump (mm)	Slump flow (mm)	Air contents (%)	Setting time	
				Initial set	Final set
0*	170	260	5	11h 45m	15h 15m
25	130	225	2.5	10h 25m	13h 25m
50	140	245	1.5	9h 25m	12h 25m
75	160	295	1.2	9h 55m	13h 05m
100	205	315	1	10h 25m	14h 10m

*Plain

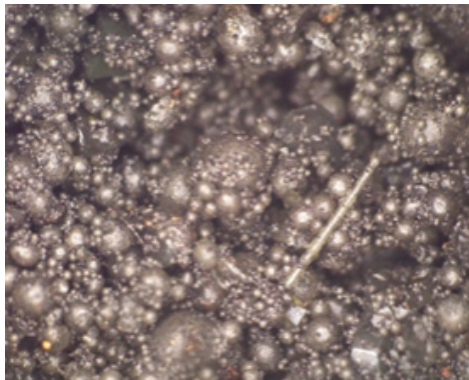


Fig. 8. Particle shape of CGS

용하고 있지 않음에 본 논문에서는 Durometer의 C type과 D type의 경도치 단위를 HD로 통일하여 나타내었다.

Durometer C type은 측정침이 둥근형태로 스펀지나 연질고무의 경도측정에 사용 되고있어 Proctor 관입저항치의 작은 범위와 상관성이 있다. 따라서 시험결과로 초결까지의 측정이 가능한 것으로 나타났으며 약 40HD 전후의 값을 초결 측정치로 사용할 수 있을 것으로 사료된다.

Fig. 12은 FC 치환율 변화에 따른 Durometer D type에 대한 측정치를 나타낸 것이다. Durometer D type은 측정침의 형상이 바늘형태로 단단한 고무 및 플라스틱의 경도측정에 사용이 되고 있다. 시험결과로 초결이 지난후 종결까지를 측정하기에 효과적임

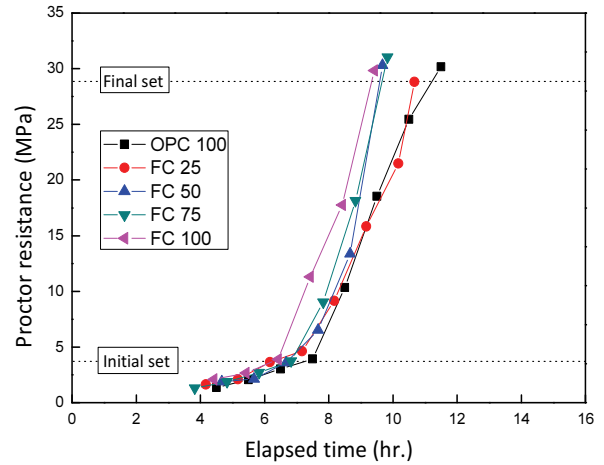


Fig. 9. Penetration resistance with elapsed time depending on cement types

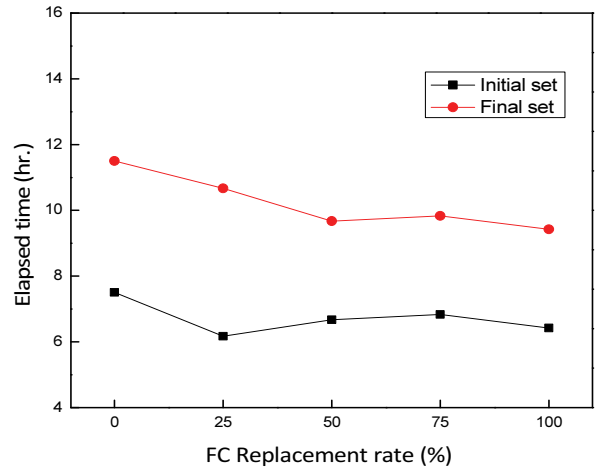


Fig. 10. Initial set and final set with FC contents

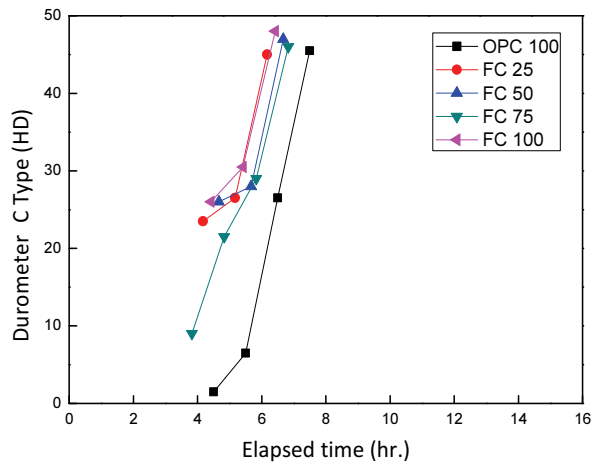


Fig. 11. Hardness by durometer C type with elapsed time

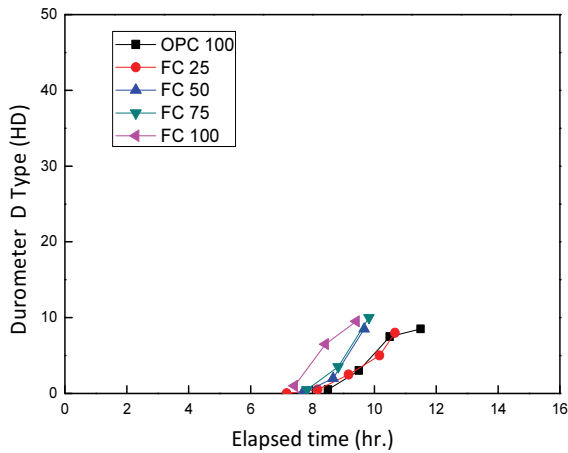


Fig. 12. Hardness by durometer D type with elapsed time

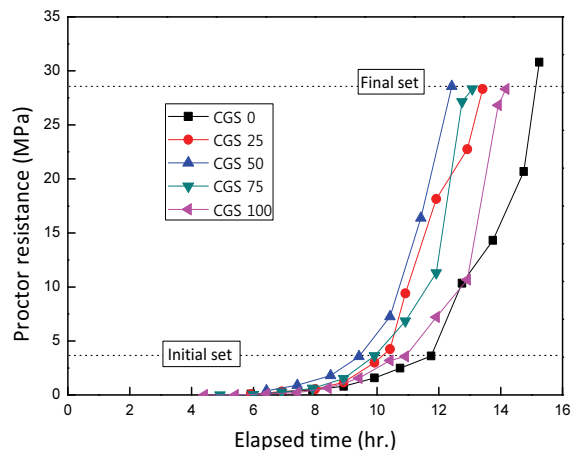


Fig. 14. Penetration resistance with elapsed time

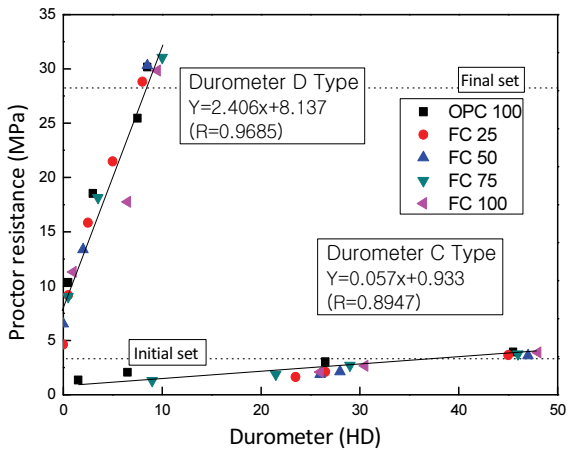


Fig. 13. Relationships between proctor resistance and hardness by durometer

을 알 수 있었다. 약 10HD의 측정치로 하면 종결시간 판정에 사용할 수 있을 것으로 사료된다.

Fig. 13은 Series 1의 Proctor 관입저항치와 Durometer C type, D type 측정치간의 상관관계를 나타낸 것이다. 결국, 초결시간은 Durometer C type의 경우 경도값 40HD, 종결은 D type 경도값 10HD 전후 값으로 나타남에 이 값을 실무현장에 적용하여 활용하면 용이하게 응결시간 추정으로 표면 마감 등의 현장작업 관리에 도움이 될 수 있을 것으로 판단된다.

4.2.2 콘크리트

Fig. 14는 Series 2의 CGS 잔골재 혼합비율 변화별 습식체가름 모르타르에서 경과시간에 따른 Proctor 관입저항치를, Fig. 15는 Fig. 14의 결과로부터 산출한 CGS 치환율 변화별 초결과 종결시간

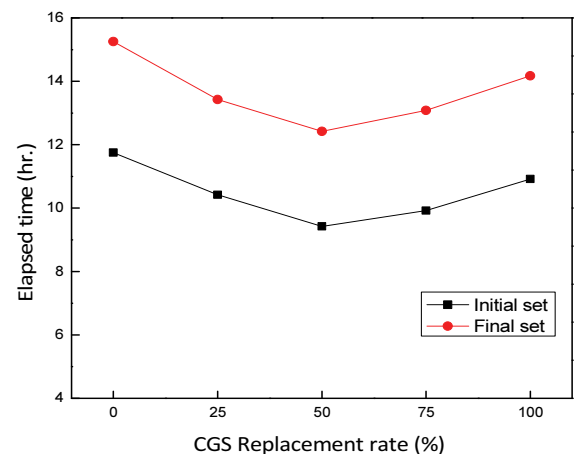


Fig. 15. Initial set and final set with CGS contents

의 응결시간을 나타낸 것이다. CGS를 잔골재로 활용함에 있어, 치환율이 증가할수록 콘크리트의 응결시간은 50%까지는 단축되다 그 이후는 지연되는 경향으로 나타났다.

Fig. 16, 17은 CGS 잔골재 혼합비율 변화별 습식체가름 모르타르에서 경과시간에 따른 Durometer C, D type의 측정치를 나타낸 것이다. Series 1과 같이 초결 측정으로는 C type, 종결 측정으로는 D type이 사용 가능하였으며 응결시간이 Proctor 관입저항치와 유사한 경향을 보이는 것을 확인하였다.

Fig. 18은 Series 2의 콘크리트 상태에서 습식 체가름한 모르타르에서 Proctor 관입저항치와 Durometer C, D type 측정치의 상관관계를 나타낸 것이다. Durometer C type은 0.9647의 높은 상관계수로 초결시간 측정에 약 40정도의 HD값을, Durometer D type의 경우는 0.9594의 상관성으로 10HD값을 활용하면 종결시간 판

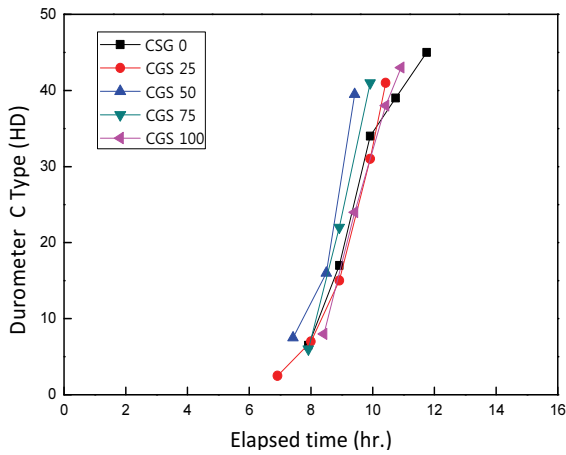


Fig. 16. Hardness by durometer C type with elapsed time

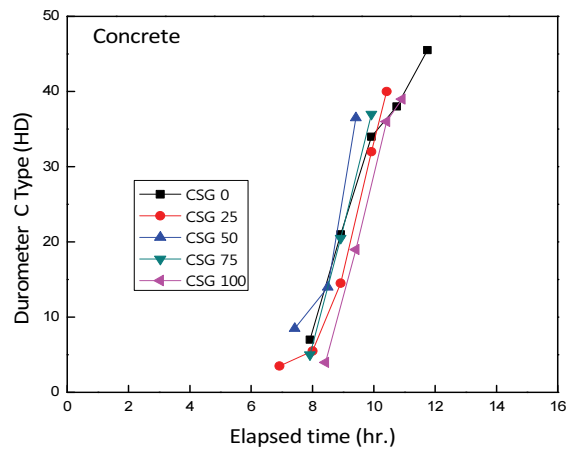


Fig. 19. Hardness by durometer C type with elapsed age in concrete

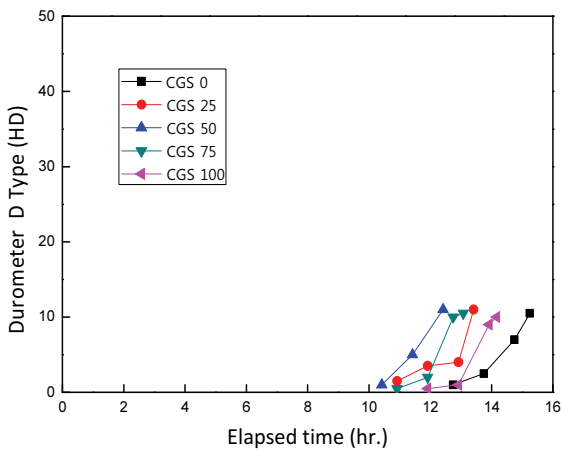


Fig. 17. Hardness by durometer D type with elapsed time

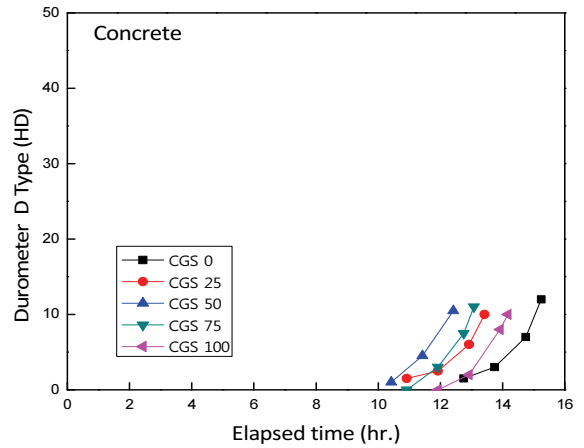


Fig. 20. Hardness by durometer D type with elapsed age in concrete

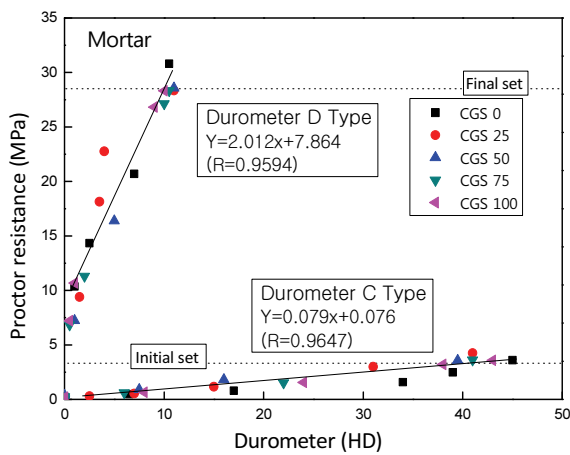


Fig. 18. Relationship between penetration resistance and hardness by Durometer in mortar

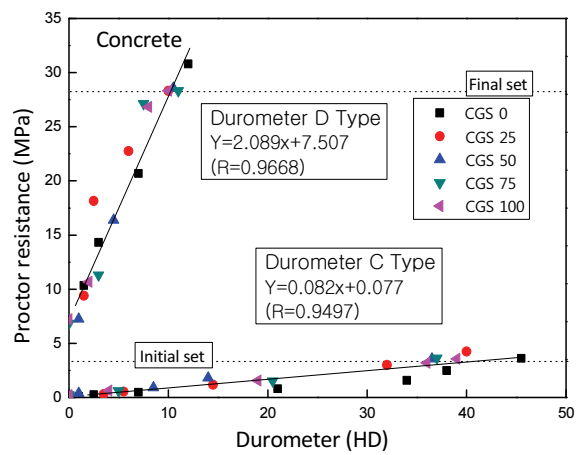


Fig. 21. Relationship between penetration resistance and hardness by durometer in concrete

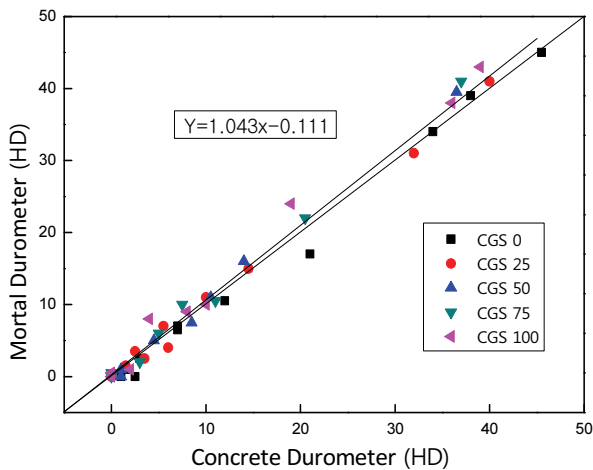


Fig. 22. Relationship between hardness by durometer in mortar and hardness by durometer in concrete

정에 용이하게 사용할 수 있을 것으로 판단된다.

Fig. 19, 20은 콘크리트 상태인 압축강도 공시체 상부면에서 Durometer C type, D type으로 측정된 것이다. 전체적인 경향은 모르타르 상태에서와 유사한 경향으로 나타났다.

Fig. 21은 습식체가름한 모르타르의 Proctor 관입저항치와 콘크리트에서의 Durometer C type, D type 측정치의 상관관계를 나타낸 것이다. Durometer C type은 상관계수 0.9497로 초결시간 측정에 42HD값 정도를, Durometer D type의 경우는 0.9668의 상관성으로 종결 측정에 10HD값 정도를 활용하면 편리하게 추정할 수 있을 것으로 판단된다.

Fig. 22는 Series 2의 경우 모르타르에서의 Durometer 측정치와 콘크리트에서의 Durometer 측정치를 상호 비교하여 나타낸 것이다. 측정치가 클 경우 모르타르 상태에서 약 4%정도 큰 값으로 지연되는 경향을 나타내지만 45도 곡선을 기준으로 측정치들이 균등하게 분포하고 있어 습식체가름한 모르타르와 체가름 하지 않은 콘크리트간에는 높은 상관성으로 거의 차이가 없음을 확인할 수 있었다. 따라서 실무의 편의성까지도 고려하면 타설된 콘크리트면에서 Durometer C, D type으로 응결시간 추정 및 콘크리트 표면마감 시간결정 품질관리에 유용하게 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

5. 결론

본 연구에서는 콘크리트 표면 마감시간 예측관리와 관련하여

Durometer를 이용한 콘크리트의 표면저항치로 응결시간 추정방법을 제안하고자 Proctor 관입 저항시험기와 비교 분석하였는데, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 모르타르 시험체에서 Proctor 관입저항시험기와 Durometer의 측정치는 높은 상관관계를 확인할 수 있었다.
2. Durometer C type의 경우는 초결시간, D type의 경우는 종결시간 추정에 양호하게 활용할 수 있는데, 콘크리트의 경우 초결시간은 Durometer C type으로 42HD 전후, 종결시간은 D type으로 10HD 전후의 값을 사용하면 표면 마감시간의 관리에 활용이 가능할 수 있을 것으로 사료된다.
3. Proctor 관입저항 시험기는 무게가 무거우며, 관입침 길이가 길어 반드시 콘크리트를 습식체가름하여 모르타르 상태에서 진행하여야 하는 불편이 따르지만 Durometer는 휴대가 가능하고, 관입 길이가 짧아 습식체가름 없이 콘크리트면에서 직접 관입저항값을 측정하여도 문제가 없어 편리할 수 있음을 알 수 있었다.

Conflict of interest

None.

References

- Han, C.G. (2008). Remicon Quality Control 2, Kimoondang, 141-142.
- Kato, J., Makishima, O. (2017). Proposal for effective construction management technique by setting management at concrete placement. Proceedings of Architecture Institute of Japan, 423-424.
- Korea Concrete Institute. (2010). Concrete working manual, Concrete curing, Kimoondang, 162-174.
- Lee, H.J., Lee, Y.J., Kim, T.W., Min, B.O., Lee, J.s., Han, M.C. (2018). A Feasibility Analysis of the Durometer for Setting Time Assessment of the High Fluidity Concrete with SCMs. Journal of the Architectural Institute of Korea, **18(1)**, 187-188 [in Korean].
- Shin, K.J., Lee, D.K., Seo, D.W., Yoo, C.M., Lim, M.H., Lim, S.H. (2016). Setting Estimation of Cement Paste Using New-type Embedded Sensor. Journal of the Korean Recycled Construction Resources Institute, **4(4)**, 483-488 [in Korean].

고무경도계를 이용한 콘크리트의 응결시간 추정 가능성 분석

본 연구는 현재 작업자의 경험과 감각에만 의존하고있는 표면 마감작업시간 판정을 Durometer 측정치와 Proctor 관입저항 시험치를 비교하여 응결시간 판정에 듀로미터를 활용함으로써 실무 구조체의 과학적이고 정량적인 표면 마감시간의 추정 가능성을 분석하고자 하였다. 연구 결과로 Durometer 측정치와 Proctor 관입저항 시험치는 상관성이 높다고 판단되어 콘크리트의 경우 초결 측정시에는 Durometer C type으로 42HD전후 일 때 표면 마감작업 개시가능 시간결정에, 종결 측정시에는 Durometer D type으로 10HD 전후일때 표면마감 한계시간, 양생개시 시간 등에 유용하게 사용할 수 있을 것으로 사료되었다.